

การตรวจเอกสาร

ผู้วิจัยได้ค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

1. ระบบพลังงานที่ใช้ในการทำงานของกล้ามเนื้อ
2. ความสำคัญของสมรรถภาพอนาการศนียม
3. ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ
4. องค์ประกอบของแบบทดสอบ
5. แบบทดสอบระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน
6. การทดสอบด้วยวิธีวินเกตและวิธีรันนิ่งเบสแอนแอโรบิคสปรินท์
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบพลังงานที่ใช้ในการทำงานของกล้ามเนื้อ

การทำหน้าที่ของระบบต่าง ๆ ของร่างกาย โดยเฉพาะระบบกล้ามเนื้อ (muscle system) ในการประกอบกิจกรรมหรือการออกกำลังกาย ล้วนต้องการพลังงานเพื่อการทำหน้าที่ของกล้ามเนื้อ (สนธยา, 2547) สอดคล้องกับ ชูศักดิ์และกันยา (2536) กล่าวว่า ในการออกกำลังกายซึ่งแท้จริง เป็น การทำงานของกล้ามเนื้อ ซึ่งต้องอาศัยขบวนการเปลี่ยนพลังงานทางเคมีที่ได้จากอาหารให้เป็น พลังงานเพื่อใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเราจะปฏิบัติกิจกรรมใด ๆ ก็ตามที่ เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวร่างกายจำเป็นต้องใช้พลังงานในการทำงานของกล้ามเนื้อ ดังที่ Jack and David (2000) ได้กล่าวว่า พลังงานมีความจำเป็นมากสำหรับการทำงานของกล้ามเนื้อ ซึ่งการ ออกกำลังกายและการแข่งขันกีฬานั้น ร่างกายต้องอาศัยขบวนการเปลี่ยนพลังงานทางเคมีที่ได้จาก อาหารให้เป็นพลังงานเพื่อใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยร่างกายจะต้องเปลี่ยนอาหารให้เป็น พลังงาน adenosine triphosphate (ATP) ก่อน สารนี้จะสังเคราะห์กลับคืนใหม่ได้โดยใช้พลังงานที่

ได้จากการเผาผลาญอาหาร เจริญ (2544) ได้กล่าวว่า ผู้ฝึกสอนกีฬาที่มีความรู้ความสามารถดี จำเป็นต้องศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับขบวนการผลิตพลังงานซึ่งจะมีอยู่ 3 ระบบ คือ

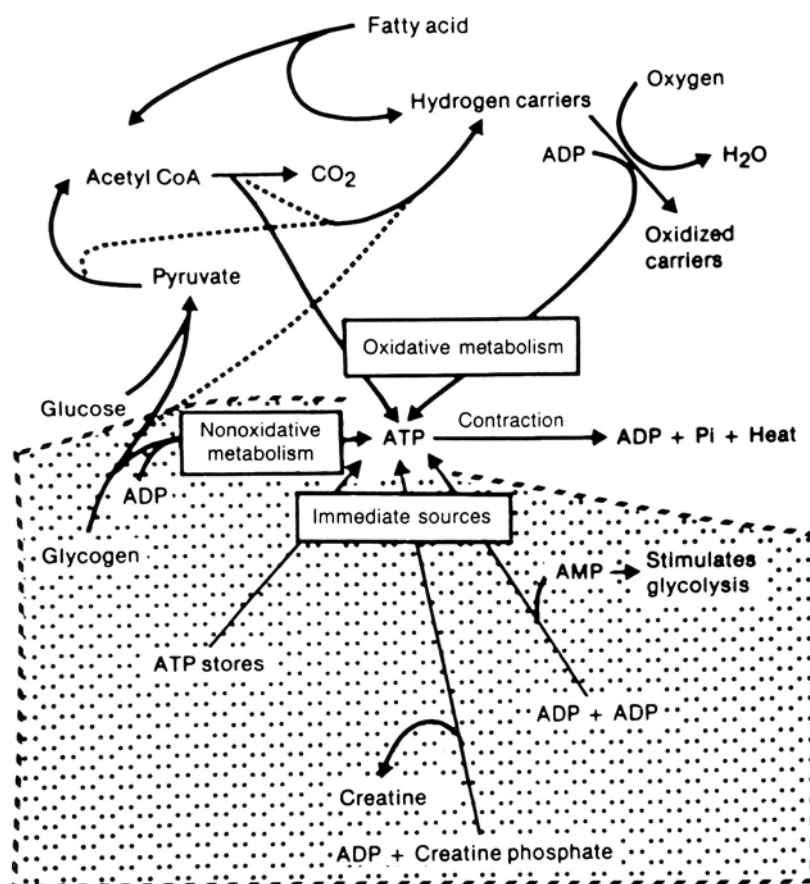
1. ระบบพลังงานไม่ใช้ออกซิเจนแบบไม่เกิดกรดแลคติก (anaerobic alactic system) หรือเรียกอีกชื่อว่า ATP-CP system เป็นระบบที่สำรองพลังงานได้โดยตรง โดยที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจนในการผลิตพลังงานและไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติก เมื่อการทำงานมีความหนักสูงสุด (maximum) ระบบนี้สามารถสำรองพลังงานเอทีพีได้ประมาณ 6-8 วินาที เนื่องจากปริมาณของสารครีเอตินฟอสเฟตจะหมดลงในเวลาอันสั้น การสำรองพลังงานโดยการเปลี่ยนรูปของสารครีเอตินฟอสเฟตส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเมื่อเริ่มต้นออกกำลังกาย หรือการเล่นกีฬาที่ต้องมีการเคลื่อนไหวอย่างเฉียบพลันทันทีทันใด และการสร้างกลับคืนของครีเอตินฟอสเฟตหลังการออกกำลังกายหยุดลง จะใช้เวลาเพียงเล็กน้อย ประมาณ 3 ถึง 5 นาที

2. ระบบพลังงานไม่ใช้ออกซิเจนแบบเกิดกรดแลคติก (anaerobic lactic system) หรือเรียกอีกชื่อว่าไกลโคไลซิส (glycolysis system) เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจนในการสำรองพลังงาน เอทีพีเช่นเดียวกับระบบแอนแอโรบิก อแลคติก แต่การสำรองพลังงานจะก่อให้เกิดกรดแลคติกขึ้น จึงเป็นระบบที่นำมาใช้ในกรณีฉุกเฉิน เช่น มีการทำงานหนักอย่างรวดเร็วและยาวนาน โดยเฉพาะการทำงานในช่วงเวลา 20 วินาที ถึง 45 วินาที พลังงานสำรองที่ได้มาจากไกลโคเจน (glycogen) ซึ่งจะถูกนำมาใช้มากที่สุด ขบวนการของระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบเกิดกรดแลคติก จะมีการสะสมกรดแลคติกเกิดขึ้นในกล้ามเนื้อ ซึ่งมีผลทำให้ความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อลดลงหรือมีอาการเมื่อยล้าเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม ระดับการสำรองพลังงานจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความสามารถของแต่ละบุคคล เพศ อายุ และระยะเวลาของการออกกำลังกาย สอดคล้องกับ Hill (1995) กล่าวว่า จำนวนไกลโคเจนที่เก็บสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ จะสามารถสนับสนุนการวิ่งเร็วสูงสุดได้ประมาณ 75-80 วินาที อย่างไรก็ตามการปฏิบัติจริงจะไม่สามารถกระทำได้นี้ เนื่องจากผลผลิตของกระบวนการไกลโคไลซิสจะเกิดกรดแลคติก ซึ่งจะก่อให้เกิดกรดอย่างสูงและเป็นสาเหตุทำให้ระดับความเป็นกรดในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของความเป็นกรดจะมีผลต่อองค์ประกอบที่จำเป็นของการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างน้อยสองอย่าง คือ ลดความสามารถในการทำงานของฟอสโฟฟรุกโตไคเนส (phosphofructokinase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญของกระบวนการไกลโคไลซิส และแทรกแซงการทำงานของแคลเซียมในกระบวนการครอสบริดจ์ (cross-bridge) โดยการป้องกันการเกาะของแคลเซียมกับโทรโปนิน-ซี (troponin-c) ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ

ดังนั้น โดยผลผลิตของกระบวนการไกลโคไลซิสจะนำไปสู่การลดลงของการสำรองพลังงานเอทีพี และการลดลงของแรง (force) ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ

การกำจัดกรดแลคติกออกจากกล้ามเนื้อหรือร่างกายนั้น ใช้ระยะเวลานานกว่าการสร้างพลังงานใหม่ขึ้นมาทดแทน เพราะอาจจะใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมงในการกำจัดกรดแลคติกให้ลดลงจนอยู่ในระดับเดียวกันก่อนการออกกำลังกาย การเดินหรือการวิ่งเหยาะ ๆ ภายหลังการออกกำลังกายอย่างหนัก หรือภายหลังจากการใช้ความเร็วสูง เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยระบายหรือกำจัดกรดแลคติกในร่างกายให้ลดลงเร็วขึ้น โดยเฉพาะในช่วง 10 นาทีแรกหลังจากเสร็จสิ้นการออกกำลังกายจะช่วยลดระดับกรดแลคติกลงอย่างมาก (เจริญ, 2538)

3. ระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (aerobic system) ระบบแอโรบิคต้องการใช้ออกซิเจนในกระบวนการเผาผลาญอาหาร แต่อย่างไรก็ตาม แม้จะมีออกซิเจนอย่างเพียงพอ กระบวนการเผาผลาญก็อาจจะถูกจำกัดโดยปัจจัยทางด้านเอนไซม์และไมโทคอนเดรีย ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญสำหรับการผลิตพลังงาน และถ้ามีจำนวนจำกัดจะทำให้ปริมาณการผลิตพลังงานน้อยลง ระบบแอโรบิคสามารถใช้เชื้อเพลิงมากกว่าหนึ่งชนิด คาร์โบไฮเดรตและไขมันที่เก็บสะสมอยู่ในร่างกายเป็นต้นตอที่สำคัญของการผลิตพลังงานของระบบแอโรบิค การเก็บสะสมของคาร์โบไฮเดรตจะมีจำนวนจำกัด ขณะที่การเก็บสะสมของไขมันมีจำนวนไม่จำกัด การสำรองพลังงานจากทั้งสองต้นตอจะทำงานในเวลาเดียวกัน แต่จะแบ่งสัดส่วนกันสำรองพลังงาน โดยขึ้นอยู่กับระดับความหนักของการออกกำลังกาย ระยะเวลาของการออกกำลังกาย และสภาพของการฝึกซ้อมแต่ละบุคคล การออกกำลังกายที่ระดับความหนักต่ำกว่าสูงสุด (submaximum) ระยะเวลายาวนาน ในตอนแรก คาร์โบไฮเดรตจะเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญหรือเป็นต้นตอหลักของพลังงานทั้งหมด แต่เมื่อระยะเวลาการออกกำลังกายเพิ่มขึ้น การสำรองพลังงานจากการเผาผลาญของไขมันจะเข้ามามีบทบาทที่ละน้อยและเพิ่มระดับสูงขึ้นเป็นต้นตอหลักของการผลิตพลังงานทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันของร่างกายในการที่จะคงเหลือไกลโคเจนไว้ในร่างกาย สำหรับใช้เป็นพลังงานของสมอง (brain) กลูโคสเป็นแหล่งพลังงานเพียงอย่างเดียวสำหรับการทำงานของสมอง การทำงานร่วมกันของคาร์โบไฮเดรตและไขมันจึงเป็นสิ่งที่ดีต่อร่างกาย และสามารถที่จะฝึกซ้อมระบบพลังงานแบบแอโรบิคได้ตลอดชั่วอายุ

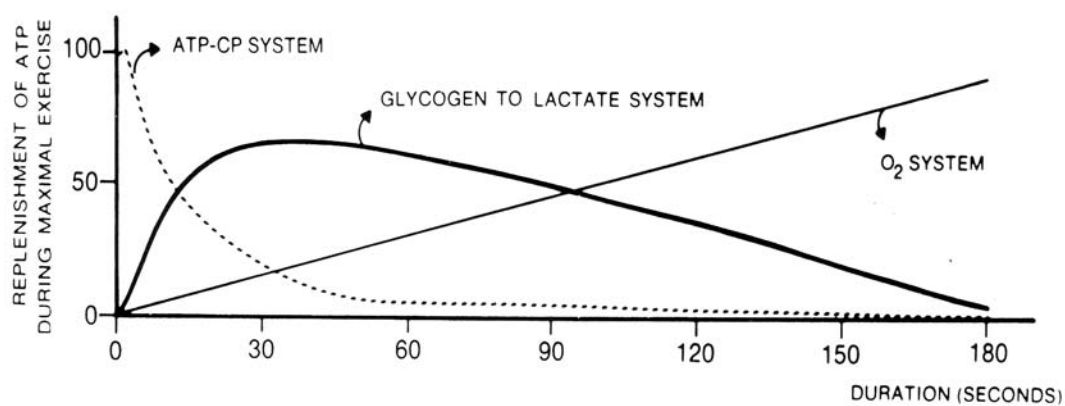


ภาพที่ 1 แหล่งที่มาของพลังงานที่ทำให้เกิด ATP

ที่มา: Duncan *et al.* (1991)

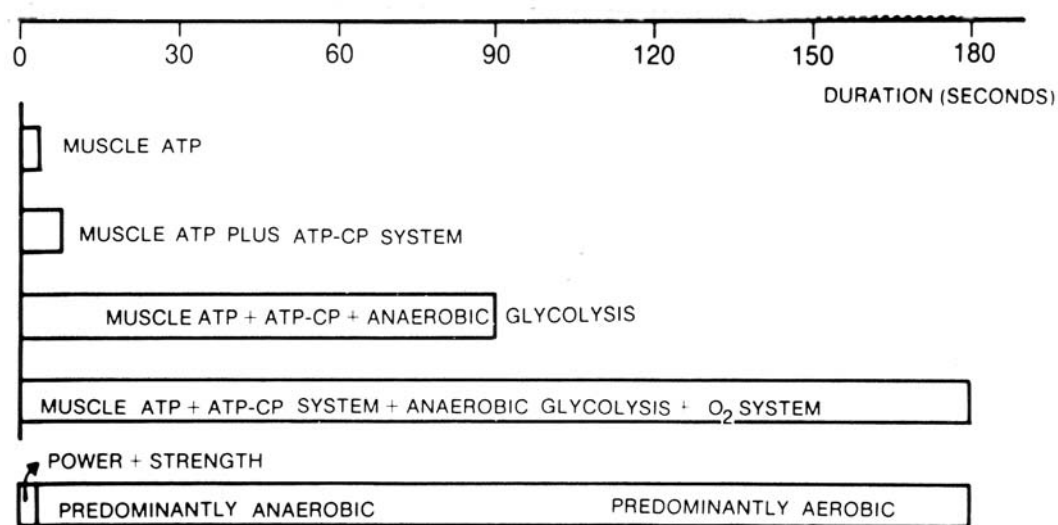
ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับพลังงาน

พลังงานที่กล้ามเนื้อจะนำมาใช้ในกีฬาแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับชนิด (type) ของกีฬานั้น ๆ ความหนัก (intensity) และระยะเวลา (duration) ในการฝึกซ้อมหรือแข่งขันกีฬา กีฬาที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวต้องการความว่องไวเหมือนกัน พลังงานทั้ง 3 ระบบจะถูกกระตุ้นให้เริ่มทำงานพร้อม ๆ กัน เพียงแต่ว่าระบบใดจะถูกใช้พลังงานมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้ตามความหนักและระยะเวลาของการเล่นกีฬานั้น ๆ (ภาวิณี, 2542)



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของการออกกำลังกายกับการใช้พลังงานจากระบบต่าง ๆ

ที่มา: Duncan *et al.* (1991)



ภาพที่ 3 แหล่งที่มาของพลังงานในขณะออกกำลังกายสูงสุดในช่วงระยะเวลา 180 วินาที

ที่มา: Duncan *et al.* (1991)

ความสำคัญของสมรรถภาพอนาการศนิยม

สมรรถภาพอนาการศนิยม (anaerobic capacity) หมายถึง ความสามารถสูงสุดในการทำงานของกล้ามเนื้อแบบไม่ใช้ออกซิเจนในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ โดยใช้พลังงานที่เก็บสะสมในกล้ามเนื้อเป็นหลัก (Medbo and Burgers, 1989) สมรรถภาพอนาการศนิยม เป็นการแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการสร้างเอทีพี ขึ้นมาใหม่จากแหล่งพลังงานที่ไม่ใช่ไมโทครอนเดรีย (Roberts and Roberts, 1997) สอดคล้องกับ Elliott (1998) กล่าวว่า สมรรถภาพอนาการศนิยม คือ การผลิตพลังงานของร่างกายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เป็นการแสดงออกทางด้านการทำงานของกล้ามเนื้อเฉพาะบุคคล

McArdle *et al.* (2001) กล่าวว่า สมรรถภาพอนาการศนิยมหรือกำลังเฉื่อยนั้น เป็นการแสดงถึงความสามารถในการใช้พลังงานแบบไกลโคไลติก ซึ่งสมรรถภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้เป็นองค์ประกอบสำคัญ และมีความจำเป็นอย่างยิ่งในกีฬาหลาย ๆ ประเภท โดยเฉพาะกีฬาที่มีการแข่งขันที่ใช้ความสามารถสูงสุด หรือกำลังความเร็วสูงสุดมีการทำงานซ้ำหลาย ๆ เทียะเป็นระยะเวลานาน เช่น ฟุตบอล บาสเกตบอล รักบี้ฟุตบอล เทนนิส เป็นต้น ดังนั้น สมรรถภาพอนาการศนิยมนับว่าเป็นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งในกีฬาฟุตบอล ดังที่ Kirkendall (1993) กล่าวถึงการเคลื่อนไหวในกีฬาฟุตบอลไว้ว่า การเคลื่อนไหวในเกมฟุตบอลนั้นก็จะมีความหลากหลายรูปแบบ เช่น การเดิน การกระโดด การพุ่ง การวิ่งเหยาะ การกลับตัว การวิ่งไปวิ่งมา การวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดระยะสั้น ๆ ซึ่งจะแตกต่างกันไปแล้วแต่ตำแหน่งการเล่น การวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดในนักกีฬาฟุตบอลนั้นระยะทางจะอยู่ในช่วง 10-40 เมตร และระยะทางของการเคลื่อนไหวตลอดทั้งเกมการแข่งขันเฉลี่ยประมาณ 9 กิโลเมตร และแต่ละชนิดของการเคลื่อนไหวคิดเป็นร้อยละของระยะทางทั้งหมดจะประกอบด้วย การเดินร้อยละ 25 การวิ่งเหยาะ ๆ ร้อยละ 37 การวิ่งไปกลับร้อยละ 20 การวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดร้อยละ 11 และการวิ่งถอยหลังร้อยละ 6 และการเคลื่อนไหวนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว และทิศทางทุก ๆ 4-5 วินาที สอดคล้องกับ Reilly (1996) ได้กล่าวไว้ว่า กิจกรรมส่วนมากในเกมฟุตบอลจะมีความหนักเบาผสมผสานกันไป ซึ่งจะมีการวิ่งไปกลับ การวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดทุก ๆ 30 วินาทีและมีการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดเพียงอย่างเดียวทุก ๆ 90 วินาที ซึ่งในช่วงนี้จะเป็นการใช้พลังงานที่ได้มาจากการทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งสอดคล้องกับ Matkovic *et al.* (1991) ได้กล่าวไว้ว่า การเคลื่อนไหวในเกมฟุตบอลประกอบด้วยการเล่นไหวหลายลักษณะ โดยส่วนใหญ่เป็นการเคลื่อนไหวระยะสั้น ๆ มากกว่าการเคลื่อนไหวระยะยาว เช่น การวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด การกระโดด ดังนั้นนักกีฬาจึงต้องการสมรรถภาพการทำงานแบบไม่ใช้

ออกซิเจนและแบบใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อไปพร้อม ๆ กัน จะใช้พลังงานใดเป็นหลักขึ้นอยู่กับความหนักของการออกกำลังกาย ซึ่งก็ได้สอดคล้องกับ Vanfreaechem *et al.* (1991) ได้กล่าวไว้ว่าฟุตบอลไม่ได้เป็นกีฬาประเภทที่ใช้พลังงาน ที่ได้มาจากการทำงานแบบใช้ออกซิเจนเพียงอย่างเดียว แต่จะประกอบด้วยการใช้พลังงานที่ได้มาจากการทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วย แต่ถ้าระยะเวลาการทำงานติดต่อกันมากกว่า 10 นาทีขึ้นไปนั้น จะเป็นการใช้พลังงานที่ได้มาจากการทำงานแบบใช้ออกซิเจนเป็นหลัก

Edwards (1997) กล่าวว่า กีฬาฟุตบอลเป็นเกมที่มีความต้องการสมรรถภาพทางด้านการใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ในขณะที่แข่งขันจะต้องใช้สมรรถภาพด้านไม่ใช้ออกซิเจนมาก เช่น การวิ่งเข้ารับลูก การวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ซึ่งจะก่อให้เกิดการขาดออกซิเจนและเกิดกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ สอดคล้องกับ Wilmore and Costill (1994) กล่าวว่า ในบางครั้งนักฟุตบอลจะต้องทำงานหนักเกินกว่า 30 วินาที ระบบฟอสฟาเจนไม่สามารถทำงานต่อได้ ระบบไกลโคไลติก จึงต้องรับหน้าที่แทนในฐานะระบบพลังงานหลัก ทำให้เกิดผลเสีย คือ เกิดกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ เป็นสาเหตุทำให้หนักกีฬาเมื่อยล้า ดังนั้นสมรรถภาพอนาโรบิกจึงเป็นตัวกำหนดขีดความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อ

ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ

ความเมื่อยล้า (fatigue) หมายถึง การที่ความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อลดลงอันเป็นผลเนื่องมาจากการที่ทำงาน (ประทุม, 2527) สอดคล้องกับ ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) การล้าของกล้ามเนื้อ (muscular fatigue) คือ การที่กล้ามเนื้อไม่สามารถทำงานให้มีสมรรถภาพหรือกำลังได้ตามที่คาดหมายไว้ การล้าของกล้ามเนื้อนั้นอาจมีสาเหตุจากส่วนรอบนอก (peripheral fatigue) หรืออาจมีสาเหตุมาจากระบบประสาทส่วนกลาง (central fatigue) เจริญ (2538) กล่าวว่า ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับระดับความหนักของงานและระยะเวลาที่กำหนดให้อาการเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้า (fatigue) ที่เกิดกับกล้ามเนื้ออันเนื่องมาจากการทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic energy system) ของกล้ามเนื้อ เป็นองค์ประกอบสำคัญในการจำกัดความเร็วหรือทำให้พลังความเร็วในการวิ่งระยะสั้นลดลง จะเห็นได้จากในกีฬาหลายประเภทไม่ว่าจะเป็นฟุตบอล บาสเกตบอล เทนนิส แบดมินตัน รักบี้ฟุตบอล ส่วนใหญ่ร้อยละ 80 ของพลังงานที่ถูกนำมาใช้ในการเปลี่ยนแปลงจังหวะทิศทางการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วในช่วงสั้น ๆ ล้วนเป็นพลังงานที่ได้มาจากการทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน

สาเหตุของการล้า

ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) กล่าวว่า สาเหตุของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ เกิดจากปัจจัยดังต่อไปนี้

1. Neuromuscular Junction พบว่า บริเวณรอยต่อของประสาทและกล้ามเนื้อเป็นต้นตอที่ก่อให้เกิดอาการล้า การล้าชนิดนี้พบได้บ่อยในหน่วยยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว ส่วนกลไกนั้นเชื่อว่าเกิดจากสารสื่อประสาท คือ อะเซทิลโคลีน (acetylcholine) ลดน้อยลง

2. Contractile Mechanism เกิดจากกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อ ดังต่อไปนี้

2.1 การสะสมของกรดแลคติก ทำให้ peak tension ลดลง ทำให้เกิดความเป็นกรดภายในเซลล์มากขึ้น จึงทำให้การปล่อยแคลเซียมจาก sarcoplasmic reticulum ลดน้อยลง

2.2 การหมดไปของ ATP-CP

2.3 การหมดไปของไกลโคเจนที่สะสมไว้

2.4 ปัจจัยอื่น เช่น การขาดออกซิเจนและการที่กล้ามเนื้อมีเลือดมาเลี้ยงไม่เพียงพอ

3. ระบบประสาทส่วนกลาง พบว่า เป็นต้นตออย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดอาการล้า สาเหตุมาจากมี sensory feed back จากกล้ามเนื้อที่หดตัว ทำให้เกิดการขัดขวางของสัญญาณประสาทที่ส่งมาจากสมองหรือไขสันหลังทำให้ลดประสิทธิภาพในการทำงานของกล้ามเนื้อ

การออกกำลังกายอย่างหนักเป็นการออกกำลังกายที่มีความหนักมากกว่า 85% ของอัตราการใช้พลังงานสูงสุด มีปริมาณของกรดแลคติกในกระแสเลือดประมาณ 12-20 มิลลิโมลต่อลิตร กรดแลคติกมีความเข้มข้นในกระแสเลือดเพิ่มมากขึ้น การออกกำลังกายชนิดนี้ ได้แก่ การวิ่ง 100, 200 และ 400 เมตร (ชูศักดิ์ และกันยา, 2536) เป็นต้น

McArdle *et al.* (2001) กล่าวว่า เมื่อความหนักของการออกกำลังกายเพิ่มสูงขึ้น อัตราการสลายและการเคลื่อนย้ายกรดแลคติก จะน้อยกว่าการผลิตกรดแลคติก ทำให้เกิดการสะสมกรดแลคติกในกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น กรดแลคติกเป็นของเสียที่ถูกสร้างจากระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic system) เมื่อร่างกายมีกรดแลคติกในกล้ามเนื้อสูงจะทำให้เกิดการขัดขวางการทำงานของกล้ามเนื้อ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อลดลง การเคลื่อนไหวช้าและทำงานได้ไม่เต็มที่ การที่มีกรดแลคติกสะสมในกล้ามเนื้อ เนื่องจากการทำงานสูงสุดในช่วงสั้น ๆ อัตราของกรดแลคติกจะเพิ่มขึ้นตามความหนักของงานที่เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของกรดแลคติกก็เกิดเร็วขึ้นจนถึงระดับที่ไม่สามารถทำงานได้ต่อไป ซึ่งทำให้สมรรถภาพลดลง สอดคล้องกับ Astrand and Rodahl (1986) กล่าวว่า การทำงานที่ระดับความหนักของกล้ามเนื้อใน 10 วินาทีแรก เกิดจากการหดตัวและการคลายตัวอย่างรวดเร็วของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็วของกล้ามเนื้อ ทำให้ร่างกายไม่สามารถนำเอา ATP ที่สะสมมาใช้ได้ทัน ถ้ามีการออกกำลังกายอย่างหนักไปเรื่อย ๆ จะทำให้การทำงานของกล้ามเนื้อช้าลงและหยุดทำงานในที่สุด

การกำจัดกรดแลคติก

ภายหลังการออกกำลังกายอย่างหนักจะมีกรดแลคติกคั่งอยู่ในกล้ามเนื้อ และในเลือดจึงทำให้มีอาการเมื่อยล้า ในทางสรีรวิทยาการกำจัดกรดแลคติกสามารถทำได้หลายกระบวนการ พิชิต (2536) ได้กล่าวว่า กรดแลคติกที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อจะรวมตัวกับออกซิเจนเกิดการออกซิเดชันในวัฏจักรเครบส์ (Krebs Cycle) ได้พลังงานออกมาเพื่อนำมาใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้ออีก ส่วนกรดแลคติกที่เหลือไม่ได้รวมกับออกซิเจน จะถูกส่งไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ดังต่อไปนี้

1. ที่ผิวหนังเพื่อขับออกทางเหงื่อ ประมาณ 20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์
2. ที่กล้ามเนื้อหัวใจเพื่อกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจให้เร็วขึ้น
3. ที่ตับเพื่อเปลี่ยนเป็นไกลโคเจนเก็บสะสม และเปลี่ยนเป็นกลูโคสได้อีกเมื่อร่างกายต้องการ
4. ที่ไตเพื่อขับออกไปในรูปของเกลือโซเดียมแลคเตท (sodium lactate) จะพบเกลือชนิดนี้ในปัสสาวะ หลังจากการออกกำลังกายแล้วประมาณ 30-50 นาที

Karlsson *et al.* (1981) พบว่ากรดแลคติกจะสลายในกล้ามเนื้อได้เร็วกว่าในเลือดเล็กน้อย และถ้ามีการสะสมไว้เป็นจำนวนมาก กล้ามเนื้อจะไม่สามารถทำงานต่อไปได้ โดยปกติแล้วในเลือดจะมีกรดแลคติก 10 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ในการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกออกไป ออกซิเจนเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากปัจจัยหนึ่ง โดยมีเลือดเป็นตัวกลางในการนำออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกาย และยังช่วยนำของเสียออกมาจากกล้ามเนื้อ ดังนั้นการที่มีระบบไหลเวียนเลือดดีจะช่วยให้การฟื้นตัวเกิดขึ้น กรดแลคติกถูกกำจัดออกไปได้เร็ว และจากการศึกษาของ Astrand *et al.* (1986) ได้กล่าวว่า การสลายตัวของกรดแลคติกเกิดขึ้นในกล้ามเนื้อก่อนแล้วแพร่กระจายมาในกระแสเลือด หลังจากการฟื้นตัวแล้ว 5 นาที ความเข้มข้นของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อที่ทำงาน จะใกล้เคียงกับระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด และจะกลับสู่สภาวะปกติเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1 ชั่วโมง สำหรับการวัดระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกที่เกิดขึ้น Sharon and Smith (2003) กล่าวว่า สามารถวัดได้ 2 วิธี คือ การวัดโดยตรงและการวัดโดยอ้อม การวัดโดยตรงเป็นการวิเคราะห์จากเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหลังการออกกำลังกาย แต่วิธีการนี้ค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน และอุปกรณ์ในการทดสอบก็มีราคาแพง แต่การวัดโดยอ้อมเป็นการวัดระดับความเข้มข้นของกรดแลคติก โดยการเจาะเลือดมาวิเคราะห์ ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมเพราะสะดวก รวดเร็ว มีความแม่นยำ และเสียค่าใช้จ่ายน้อย

องค์ประกอบของแบบทดสอบ

การสร้างแบบทดสอบ เพื่อจะได้วัดในสิ่งที่ต้องการจะวัดตามจุดมุ่งหมายได้ โดยทั่วไปผู้สอนอาจคิดไว้แล้วว่าจะใช้แบบทดสอบอะไรบ้าง เช่น แบบทดสอบวัดทักษะ แบบทดสอบวัดสมรรถภาพหรือแบบทดสอบเพื่อจัดกลุ่มเด็ก เป็นต้น ทั้งนี้เพราะว่าเครื่องมือสำหรับทดสอบและวัดผลทางพลศึกษามีมากมาย แต่เพื่อให้ได้ผลดีครูควรมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเกณฑ์การเลือกแบบทดสอบที่นำมาใช้ (วิริยา, 2529) โดยทั่วไปมีเกณฑ์ดังนี้

1. ความเที่ยงตรง (validity)
2. ความเชื่อมั่น (reliability)
3. ความเป็นปรนัย (objectivity)

4. เกณฑ์ปกติ (norm)

ความเที่ยงตรง หมายถึง ความถูกต้องที่ข้อสอบวัดได้ตรงตามเป้าหมายที่ต้องการจะวัด เช่น ต้องการที่จะวัดความรู้ในวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย ข้อสอบที่มีความเที่ยงตรงสูงก็จะวัดผู้รับการทดสอบว่ามีความรู้ในวิชาดังกล่าวนั้นจริงหรือไม่ รู้มากน้อยเพียงใด แต่ถ้าวัดออกมาแล้วกลับบอกว่าผู้รับการทดสอบนี้มีความสามารถและความรู้ในทางอื่น ก็แสดงว่าแบบทดสอบนี้ขาดความเที่ยงตรง อีกตัวอย่างหนึ่ง เช่น แบบทดสอบเพื่อวัดความสามารถในการเล่นแบดมินตัน การทดสอบว่าแบบทดสอบมีความเที่ยงตรงมาน้อยเพียงใด ก็โดยศึกษาระยะคะแนนจากการทดสอบนั้นว่า เป็นไปตามความสามารถในการเล่นที่แท้จริงดีเพียงใด เพื่อประเมินความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถทดสอบความสามารถของผู้เรียนได้ โดยจัดผู้เรียนให้แข่งขันแบบพบกันหมด ผู้เรียนที่ได้คะแนนจากการทดสอบสูง จำนวนครั้งของการชนะก็จะมีมากด้วย ซึ่งแสดงว่าแบบทดสอบมีความเที่ยงตรงสูง

ความเชื่อมั่น หมายถึง แบบทดสอบนั้นหรือข้อสอบนั้น เมื่อสอบไปแล้วผู้ตรวจสามารถให้คะแนนได้คงที่และแน่นอน และแม้ว่าจะใช้แบบทดสอบชุดเดิมนี้ทำการทดสอบกับผู้เรียนกลุ่มเดิมอีก ผู้เรียนก็จะตอบหรือทำได้เหมือนเดิม ในการพิจารณาความเชื่อถือได้ของแบบทดสอบทักษะกีฬาแบดมินตัน เมื่อครูนำแบบทดสอบในวันเรียนกลุ่ม ก ในวันที่ หนึ่ง หลังจากนั้นหนึ่งสัปดาห์นำแบบทดสอบไปทดสอบนักเรียนกลุ่ม ก ตามเดิม เมื่อนำคะแนนของทั้งสองครั้งมาเปรียบเทียบปรากฏว่านักเรียนได้คะแนนจากการทดสอบทั้งสองครั้งใกล้เคียงกันหรือเหมือนกับครั้งแรก แสดงว่าแบบการศึกษาหรือทดสอบความเชื่อถือได้ซึ่งเป็นความคงที่ของความสามารถของนักเรียน เพื่อความแน่นอนเกี่ยวกับการศึกษาหรือทดสอบความเชื่อถือได้ของแบบทดสอบนี้ เราต้องคาดว่าไม่มีการเรียนเพิ่มเติมในช่วงของการทดสอบ เพื่อให้สถานภาพของผู้เรียนไม่เปลี่ยนแปลง

ความเป็นปรนัย ความเป็นปรนัยของข้อสอบหรือแบบทดสอบมิได้ หมายถึงข้อสอบในแบบปรนัย จะเป็นข้อสอบในแบบใดก็ตาม ถ้าเป็นแบบทดสอบที่ดีจะต้องมีความเป็นปรนัย ซึ่งหมายถึง แบบทดสอบนั้นมีความคงที่ในการให้คะแนน ในการตรวจให้คะแนนนั้น ไม่ว่าจะตรวจเมื่อใดหรือใครเป็นผู้ตรวจคำตอบก็ตาม คะแนนของคำตอบนั้นจะคงเดิมอยู่เสมอ จะเห็นได้ว่าความเป็นปรนัยมีลักษณะคล้ายกับความเชื่อถือได้ มีข้อยกเว้นดังนี้ ผู้ทดสอบจำนวน 2 คน หรือมากกว่าที่เกี่ยวข้องในการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างในการให้คะแนนของผู้ทดสอบกลุ่ม

เดียวกัน ถ้าคะแนนของผู้ทดสอบทั้งสองใกล้เคียงกันหรือเหมือนกัน แสดงว่าแบบทดสอบมีความเป็นปรนัย

เกณฑ์ปกติ หมายถึง มาตรฐานที่กำหนดไว้ในเรื่องใดเรื่องหนึ่งของประชากรกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง ซึ่งครูสามารถนำผลจากการทดสอบไปเปรียบเทียบกับประชากรในลักษณะเดียวกันได้

วิริยา (2529) ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการประเมินผลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไว้ดังนี้

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ความเที่ยงตรง	ความเชื่อมั่นและความเป็นปรนัย
.95-.99	ดีมาก	ดีมาก
.90-.94	ดีมาก	ดี
.85-.89	ดีมาก	ยอมรับ
.80-.84	ดี	ยอมรับ
.75-.79	ยอมรับ	ต่ำ
.70-.74	ยอมรับ	ต่ำ
.65-.69	ไม่ดี	ไม่ดี
.60-.64	ไม่ดี	ไม่ดี

จากหลักการสร้างแบบทดสอบสมรรถภาพ วิธีของการสร้างให้แบบทดสอบมีคุณภาพที่ดีนั้น Kirkendall *et al.* (1980) ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานของความเที่ยงตรง ความเชื่อมั่น ความเป็นปรนัย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไว้ดังนี้

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ความเที่ยงตรง	ความเชื่อมั่น	ความเป็นปรนัย
ดีมาก	.80-1.00	.90-1.00	.95-1.00
ดี	.70-.79	.80-.89	.85-.94
ยอมรับ	.50-.69	.60-.79	.70-.84
ต่ำ	.00-.49	.00-.49	.00-.64

ที่มา: Kirkendall *et al.* (1980)

แบบทดสอบระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การออกกำลังกายและการเล่นกีฬาที่ต้องมีการเคลื่อนไหวอย่างเฉียบพลันทันทีทันใด หรือ การเคลื่อนไหวที่ต้องใช้แรงสูงสุดในระยะเวลาอันสั้น เช่น การกระโดด การวิ่งอย่างรวดเร็ว กล้ามเนื้อ จะใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic system) เป็นหลัก (อภิสิทธิ์, 2546 ก) สอดคล้องกับ การกีฬาแห่งประเทศไทย (2545) กล่าวว่า ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีความสำคัญในการเล่นกีฬา เช่น การวิ่งด้วยความเร็ว ความคล่องแคล่วว่องไว นักกีฬาที่ดีจะต้องมีพื้นฐานความเร็วที่สูงมาก ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบกล้ามเนื้อ และการประสานงานของระบบประสาท (neuromuscular ability)

ในการประเมินความสามารถในการสังเคราะห์พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อทดสอบสมรรถภาพอนาการณียมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน แต่ในการทดสอบเราควรคำนึงความเหมาะสมกับประเภทกีฬา และทำให้ทราบถึงความสามารถของร่างกายในการสังเคราะห์พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายและการฝึกซ้อมนักกีฬา ได้ทราบจุดเด่นจุดด้อย เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการวางแผนการฝึกซ้อมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น(อภิสิทธิ์, 2546 ก)

โดยปกติสิ่งที่ตามมาหลังจากการฝึกซ้อมในทางวิทยาศาสตร์การกีฬานั้น เราต้องการจะประเมินความสามารถทางด้านระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนในนักกีฬา เพื่อเป็นการประเมินพลังงานที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและพลังสูงสุดที่แสดงออกมาของนักกีฬา (Duncan *et al.*, 1991) โดยทั่วไปแบบทดสอบระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมี 3 ลักษณะ คือ

1. แบบทดสอบระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนระยะสั้น หมายถึง การทดสอบพลังที่แสดงออกมาในขณะออกกำลังกายที่มีความหนักสูงสุดในช่วงเวลา 10 วินาที เป็นการวัดระบบพลังงานที่ไม่ใช้ออกซิเจนและไม่เกิดกรดแลคติก (anaerobic alactic system) เป็นการประเมิน ATP ที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ รวมทั้งระบบพลังงานที่ไม่ใช้ออกซิเจนและเกิดกรดแลคติก (anaerobic lactic system) เป็นการทดสอบพลังงานความสามารถสูงสุดที่แสดงออกมาในช่วงแรกของการออกกำลังกาย ตัวอย่างแบบทดสอบในระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนระยะสั้น เช่น Magaria Test โดยจะมีรูปแบบของการทดสอบ คือ ในการทดสอบต้องใช้บันไดที่มีความสูง 17.5 เซนติเมตร และ

แผ่นวัดแรง ซึ่งจะต่ออยู่กับเครื่องบันทึกเวลา ในการทดสอบให้ผู้เข้ารับการทดสอบยืนห่างจากบันไดประมาณ 2 เมตร และบอกให้ผู้เข้ารับการทดสอบวิ่งโดยใช้ความเร็วสูงสุดที่สามารถทำได้ โดยให้วิ่งก้าวครั้งละ 2 ขั้นบันได โดยที่เครื่องบันทึกเวลาจะอยู่ที่ขั้นบันไดที่ 8 และ 12 และนำค่าที่ได้ไปเข้าสู่สูตรเพื่อคำนวณค่า

2. แบบทดสอบระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนระยะกลาง หมายถึง การทดสอบพลังที่แสดงออกมาในขณะออกกำลังกายที่มีความหนักสูงสุดในช่วงเวลา 30 วินาที ซึ่งพิจารณาจากความหนักและระยะเวลาของงานที่ทำ โดยจะเป็นการทำงานของระบบพลังงานที่ไม่ใช้ออกซิเจนและเกิดกรดแลคติก (anaerobic lactic system) ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ระบบพลังงานที่ไม่ใช้ออกซิเจนและไม่เกิดกรดแลคติก (anaerobic alactic system) ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และระบบพลังงานที่ใช้ ออกซิเจน (aerobic system) ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ การทดสอบเป็นการประเมินความสามารถของสมรรถภาพอนากาสนิยมที่แสดงออกมา แต่ในช่วงเวลา 30 วินาทีนั้นไม่สามารถบอกถึงความสามารถสูงสุดของสมรรถภาพอนากาสนิยมได้ ตัวอย่างแบบทดสอบในระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนระยะกลาง เช่น De Bruyn-Prevost Constant-load Test เป็นการทดสอบที่ใช้จักรยานวัดงาน โดยจะให้ผู้เข้ารับการทดสอบปั่นจักรยานจนหมดแรงหรือไม่สามารถรักษารอบของการปั่นได้ตามต้องการก็จะหยุดการทดสอบ โดยในการทดสอบจะกำหนดงาน (watt) ให้กับผู้เข้ารับการทดสอบ ผู้ชายจะปั่นโดยมีงาน 400 วัตต์ ส่วนผู้หญิงจะอยู่ที่ 350 วัตต์ และกำหนดรอบของการปั่นที่ 124 ถึง 128 รอบต่อนาทีสำหรับผู้ชาย และ 104 ถึง 108 รอบต่อนาทีสำหรับผู้หญิง โดยเมื่อเริ่มทดสอบจะมีงานที่ 50 วัตต์ ทั้งผู้ชายและผู้หญิงเมื่อเวลาผ่านไป 5 วินาที เครื่องจะปรับงานขึ้นโดยผู้ชายจะเพิ่มเป็น 400 วัตต์ ผู้หญิงเพิ่มเป็น 350 วัตต์ จะทดสอบจนกว่าผู้เข้ารับการทดสอบไม่สามารถที่จะรักษารอบของการปั่นได้ โดยผลที่แสดงออกมาคือเวลารวมที่ผู้เข้ารับการทดสอบทำได้

3. แบบทดสอบระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนระยะยาว หมายถึง การทดสอบพลังที่แสดงออกมาในขณะออกกำลังกายที่มีความหนักสูงสุดในช่วงเวลา 90 วินาที ความสามารถนี้จะอยู่ภายใต้ระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจนและระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน แบบทดสอบระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนระยะยาว เช่น 120-Second Maximum Test เป็นการทดสอบที่ใช้จักรยานยี่ห้อ Monark และเครื่องบันทึกอัตโนมัติ ในการทดสอบจะใช้ความฝืดที่ 5.6 Kp ในการปั่น 120 วินาที โดยจะให้ผู้เข้ารับการทดสอบปั่นให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ และเครื่องจะบันทึกค่าของงานที่ได้จะทุกบันทึกทุก ๆ 1.5 วินาที

การทดสอบด้วยวิธีวินเกตและวิธีร่นั่งเบสแอนแอโรบิคสปринท์

การทดสอบด้วยวิธีวินเกต

การทดสอบด้วยวิธีการวินเกต (The Wingate Anaerobic Test) ได้รับการพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1970 โดยกองวิจัยและเวชศาสตร์การกีฬาของสถาบันวินเกต เพื่อวิชาพลศึกษาและกีฬา แห่งประเทศอิสราเอล การทดสอบนี้ได้รับการยอมรับจากห้องทดลองทั่วโลก ว่าสามารถวัดกำลังของ กล้ามเนื้อ (muscle power) ความอดทนของกล้ามเนื้อ (muscle endurance) และความล้าของ กล้ามเนื้อ (muscle fatigue) ได้เป็นอย่างดี (Inbar *et al*, 1996) สำหรับวิธีการทดสอบ อภิสิทธิ์ (2546 ก) ได้อธิบายไว้ดังนี้

วิธีการทดสอบ

1. จัดผู้ช่วยในการทดสอบ 3 คน โดยคนที่ 1 ทำหน้าที่นับรอบ (ถ้าเป็นการนับโดยอัตโนมัติก็ไม่ต้อง) คนที่ 2 ทำหน้าที่ปรับน้ำหนักถ่วง และคนที่ 3 จับเวลา
2. จัดปรับที่นั่งให้เหมาะสมกับผู้ทดสอบ โดยเมื่อนั่งแล้วมุมของเข่าเหยียดได้เกือบเต็มมุม การเคลื่อนไหวในขณะถีบขา
3. ให้ผู้ทดสอบอบอุ่นร่างกายบนจักรยานทดสอบ 2-4 นาที โดยให้อัตราการเต้นของหัวใจอยู่ในช่วง 150-160 ครั้ง/นาที และอาจจะให้มีการปั่นเร็ว ๆ ประมาณ 4-5 วินาที เพื่อให้ผู้ทดสอบมีความรู้สึกใกล้เคียงกับการทดสอบ
4. หลังจากการอบอุ่นร่างกายแล้วควรให้ผู้ทดสอบพักอย่างน้อย 2 นาที แต่ไม่ควรเกิน 5 นาที
5. การทดสอบ ให้ผู้ทดสอบปั่นด้วยความเร็ว 50-60 รอบ/นาที จากนั้นเริ่มนับถอยหลัง 3-2-1 และบอก “เริ่ม” เพื่อให้ผู้ทดสอบปั่นให้เร็วที่สุดที่จะทำได้ ในขณะเดียวกันต้องปรับน้ำหนักถ่วงให้กับผู้ทดสอบตามค่าที่หาได้ (ช. = 0.083, ญ. = 0.075 คูณกับน้ำหนักตัวหน่วยเป็นกิโลกรัม) ภายใน 2-4 วินาที และก็เริ่มนับจำนวนรอบจนกระทั่งครบ 30 วินาที โดยรอบที่นับได้จะบันทึกทุกๆ

5 วินาที จนครบ 30 วินาที ถ้ามีเครื่องนับรอบอัตโนมัติก็สามารถบันทึกค่าได้เลย แต่ถ้าเป็นการนับด้วยการสังเกต จะต้องนับแบบสะสม คือนับไปเรื่อย ๆ ตั้งแต่เริ่มจนครบ 30 วินาที แล้วถึงจะมาหาจำนวนรอบในทุกช่วง 5 วินาที

6. หลังจากการปั่นครบ 30 วินาที ผู้ทดสอบจะต้องปั่นต่อไปอีกประมาณ 2-3 นาที โดยใช้ น้ำหนักถ่วงน้อยลงเพื่อเป็นการคลายอุ่น

7. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าของพลังอนาการอนิม (anaerobic power) สมรรถภาพอนาการอนิม (anaerobic capacity) ซึ่งแสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวก ข

การทดสอบด้วยวิธีรันนิ่งเบสแอนแอโรบิคสปรีนท์

การทดสอบด้วยวิธีรันนิ่งเบสแอนแอโรบิคสปรีนท์ (The Running-based Anaerobic Sprint Test) ได้รับการพัฒนาที่มหาวิทยาลัยวูลฟ์แฮมป์ตัน (Wolverhampton) ในประเทศอังกฤษ เพื่อทดสอบการออกกำลังกายโดยไม่ใช้ออกซิเจนของนักกีฬา (www.brianmac.demon.co.uk, 2005) ซึ่งเหมือนกับการทดสอบวินเกต คือวัดค่าของพลังอนาการอนิม (anaerobic power) สมรรถภาพอนาการอนิม (anaerobic capacity) และดัชนีความล้า (fatigue index) สำหรับวิธีการทดสอบอภิสิทธิ์ (2546 ข) ได้อธิบายไว้ดังนี้

วิธีการทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักตัวและอธิบายวิธีการทดสอบ
2. ในการทดสอบจะมีผู้ช่วยทดสอบจำนวน 3 คน ผู้ช่วยคนที่ 1 จะทำหน้าที่ในการจับเวลาพักระหว่างเทียะและให้สัญญาณเสียงหมดเวลาพักแก่ผู้เข้ารับการทดสอบ ผู้ช่วยคนที่ 2 จะจับเวลาในการวิ่งเทียะที่ 1, 3, และ 5 ส่วนผู้ช่วยคนที่ 3 จะจับเวลาในการวิ่งเทียะที่ 2, 4, และ 6
3. อุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อให้พร้อมก่อนการทดสอบ 5-10 นาที และให้ผู้เข้ารับการทดสอบวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดเหมือนการทดสอบจริง 1 เทียะ หลังการอบอุ่นร่างกายให้พัก 5 นาที

4. เริ่มต้นการทดสอบ ผู้เข้ารับการทดสอบขึ้นตรงจุดเริ่มต้น จากนั้นผู้ช่วยคนที่ 1 จะเป็นผู้ให้สัญญาณเสียงให้เริ่มการทดสอบ เมื่อได้ยินสัญญาณเสียงผู้ช่วยคนที่ 2 จะเริ่มจับเวลาในการวิ่งเทียวกี่ 1 และให้ผู้เข้ารับการทดสอบวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดเท่าที่ทำได้ เป็นระยะทาง 35 เมตร เมื่อครบระยะทาง 35 เมตร ผู้ช่วยคนที่ 1 จะทำการจับเวลาพัก โดยให้ผู้เข้ารับการทดสอบพักที่เส้น 35 เมตร (ไม่ต้องกลับมายังจุดเริ่มต้น) ซึ่งใช้ระยะเวลาพักในแต่ละเทียว 10 วินาที เมื่อครบ 10 วินาที ผู้ช่วยคนที่ 1 จะเป็นคนให้สัญญาณเสียงหมดเวลาพัก เมื่อได้ยินสัญญาณเสียงผู้ช่วยคนที่ 3 จะเริ่มจับเวลาในการวิ่งเทียวกี่ 2 และให้ผู้เข้ารับการทดสอบวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดเท่าที่ทำได้ มายังจุดเริ่มต้น เมื่อครบระยะทาง 35 เมตร ผู้ช่วยคนที่ 1 จะทำการจับเวลาพัก จากนั้นให้ปฏิบัติโดยวิธีการเดิมจนครบจำนวน 6 เทียว

5. หลังจากการทดสอบ ให้ผู้เข้ารับการทดสอบทำการคลายอุ่น โดยการวิ่งเบา ๆ หลังการทดสอบเป็นเวลาประมาณ 3-5 นาที

6. นำเวลาที่วิ่งได้ในแต่ละเทียวไปคำนวณหาค่าของพลังอนาการสนิม (anaerobic power) สมรรถภาพอนาการสนิม (anaerobic capacity) ซึ่งแสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวก ฅ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Michael and Armstrong (1997) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้วยเครื่องไอโซคิเนติก กับการทดสอบความสามารถด้วยจักรยานวัดงานด้วยวิธีวินเททในเด็ก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้วยเครื่องไอโซคิเนติก กับการทดสอบความสามารถด้วยจักรยานวัดงานด้วยวิธีวินเททในเด็ก กลุ่มตัวอย่างเป็นเด็กผู้หญิงจำนวน 24 คน อายุเฉลี่ย 9.9 ± 0.2 ปี ส่วนสูง 1.33 ± 0.06 เมตร และน้ำหนัก 31.8 ± 7.6 กิโลกรัม และเด็กผู้ชายจำนวน 23 คน อายุเฉลี่ย 10.2 ± 3 ปี ส่วนสูง 1.38 ± 0.05 เมตร และน้ำหนัก 33.5 ± 4.2 กิโลกรัม ซึ่งมีความแข็งแรงสมบูรณ์และได้รับความยินยอมจากผู้ปกครองให้เข้าร่วมในการทำวิจัย ทำการทดสอบด้วยการปั่นจักรยานวัดงานด้วยวิธีวินเทท และการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้วยเครื่องไอโซคิเนติก ซึ่งมีความเร็วเชิงมุมที่ 30 องศาต่อวินาทีและ 180 องศาต่อวินาที

ผลการวิจัยพบว่า

1. จากการทดสอบด้วยการปั่นจักรยานวัดงานด้วยวิธีวินเกต กำลังสูงสุด (peak power) ของกล้ามเนื้อขาระหว่างเด็กผู้ชายกับเด็กผู้หญิงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีค่าเฉลี่ยของกำลัง (mean power) ของกล้ามเนื้อขาระหว่างเด็กผู้ชายกับเด็กผู้หญิงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาด้วยเครื่องไอโซไคนดิก ระหว่างเด็กผู้ชายกับเด็กผู้หญิง (กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดขาและงอขาทั้งสองข้าง) ที่ความเร็วเชิงมุม 30 องศาต่อวินาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และที่ความเร็วเชิงมุม 180 องศาต่อวินาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาช่วงกำลังสูงสุดกับค่าเฉลี่ยของกำลัง มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผู้หญิงจะมีความสัมพันธ์สูงกว่าผู้ชาย โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของผู้หญิง 0.89 ผู้ชาย 0.53

4. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์การทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องไอโซไคนดิกกับการทดสอบความสามารถด้วยจักรยานวัดงานด้วยวิธีวินเกต ในเด็กผู้หญิงมีความสัมพันธ์ $r = 0.70$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในเด็กผู้ชายมีความสัมพันธ์ $r = 0.43$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

Pilis *et al.* (อ้างถึงใน Greg and Reilly, 1995) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของพลังงานกลระหว่างแขนกับขาในผู้ชายที่ไม่ได้รับการฝึก โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของพลังงานกลจากการทดสอบด้วยจักรยานวัดงานของแขนกับขา หาระดับของพลังงานกลและระดับกรดแลคติกในเลือดจากการทดสอบ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชาย 9 คน ซึ่งมีอายุเฉลี่ย 23 ± 1.5 ปี ส่วนสูง 1.75 ± 0.05 เมตร และน้ำหนัก 71.2 ± 4.3 กิโลกรัม ทุกคนต้องทำการทดสอบด้วยจักรยานวัดงาน 2 ครั้ง ในการทดสอบครั้งที่ 1 จะทดสอบด้วยขา และในการทดสอบครั้งที่ 2 เป็นการทดสอบด้วยแขน

ผลการวิจัยพบว่า

1. ค่าพลังงานอากาศนิยมที่ไม่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักตัว และค่าพลังงานอากาศนิยมที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักตัวของแขนต่ำกว่าขา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

2. ระดับของกรดแลคติกในเลือดช่วงนาที่ที่ 3 และนาที่ที่ 5 หลังจากการทดสอบของขาสูงกว่าแขน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในการทดสอบระหว่างแขนกับขาที่ไม่เกี่ยวกับน้ำหนักตัว ความสัมพันธ์ของพลังงานวัตต์ (watt) มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.02 ($r = 0.72$) ความสัมพันธ์ของพลังสูงสุด (power max) มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ($r = 0.82$) ความสัมพันธ์ของพลังต่ำสุด (power min) มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ($r = 0.71$) ค่าความสัมพันธ์ของดัชนีความเมื่อยล้า (fatigue index) มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.01 ($r = 0.78$)

Liou (2003) ได้ศึกษาผลของการวิ่งกลับไปกลับมา ที่มีต่อพลังงานอากาศนิยมในนักกีฬาที่ใช้บอลในการเล่น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของพลังงานอากาศนิยมระหว่างวิธีการวิ่งกลับไปกลับมา 40 เมตรจำนวน 8 เทียบกับวิธีวิ่งเทคในนักกีฬาฟุตบอลและนักกีฬารักบี้ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาฟุตบอลชายจำนวน 14 คน และนักกีฬารักบี้ฟุตบอลชาย จำนวน 13 คน โดยมีค่าเฉลี่ยของอายุ 19.7 ± 1.6 , 20.1 ± 1.3 ปี ส่วนสูง 173.9 ± 3.3 , 175.8 ± 8.4 เซนติเมตร และน้ำหนักตัว 65.9 ± 7.1 , 88.5 ± 14.8 กิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นอาสาสมัครเข้าร่วมในการวิจัย และกลุ่มตัวอย่างต้องกรอกใบแสดงความยินยอมในการเข้าร่วมการวิจัย ทำการทดสอบด้วยการวิ่งกลับไปกลับมาระยะทาง 40 เมตร และทดสอบด้วยวิธีวิ่งเทค พร้อมกับการวัดชีพจรหลังการทดสอบ และเจาะเลือดเพื่อดูปริมาณความเข้มข้นของกรดแลคติกหลังการทดสอบ

ผลการวิจัยในนักกีฬาฟุตบอล พบว่า

1. ค่าสมรรถภาพอากาศนิยม ระหว่างการทดสอบด้วยวิธีวิ่งเทคกับวิธีวิ่งกลับไปกลับมา 40 เมตร มีความสัมพันธ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ($r = -0.81$)

2. ค่าพลังอนากาสนิยม ระหว่างการทดสอบด้วยวิธีวินเกตกับวิธีวิ่งกลับไปกลับมา 40 เมตร มีความสัมพันธ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ($r = -0.94$)

3. อัตราการเต้นของชีพจรหลังการทดสอบ ของการวิ่งกลับไปกลับมา 40 เมตร กับการทดสอบวินเกต มีความสัมพันธ์กัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ($r = 0.93$)

4. ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกหลังการทดสอบของการวิ่งกลับไปกลับมา 40 เมตร กับการทดสอบวินเกต มีความสัมพันธ์กัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ($r = 0.90$)

ผลการวิจัยในนักกีฬารักบี้ พบว่า

1. ค่าสมรรถภาพอนากาสนิยม ระหว่างการทดสอบด้วยวิธีวินเกตกับวิธีวิ่งกลับไปกลับมา 40 เมตร มีความสัมพันธ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ($r = -0.98$)

2. ค่าพลังอนากาสนิยม ระหว่างการทดสอบด้วยวิธีวินเกตกับวิธีวิ่งกลับไปกลับมา 40 เมตร มีความสัมพันธ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ($r = -0.86$)

3. อัตราการเต้นของชีพจรหลังการทดสอบ ของการวิ่งกลับไปกลับมา 40 เมตร กับการทดสอบวินเกต มีความสัมพันธ์กัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ($r = 0.90$)

4. ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกหลังการทดสอบ ของการวิ่งกลับไปกลับมา 40 เมตร กับการทดสอบวินเกต มีความสัมพันธ์กัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ($r = 0.91$)

การประเมินหรือการทดสอบระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะประเมินได้ 2 ระบบ คือ ระบบฟอสฟาเจนและระบบไกลโคไลซิส ซึ่งในการทดสอบสมรรถภาพอนากาสนิยมจะเป็นการประเมินระบบไกลโคไลซิส พลังอนากาสนิยมจะเป็นการประเมินระบบฟอสฟาเจน จากการทดสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นกับร่างกาย คือ ระดับกรดแลคติกหลังการทดสอบ ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงระบบพลังงานที่นำมาใช้ และอัตราการเต้นของหัวใจหลังการทดสอบ ที่จะบ่งบอกว่าผู้ทดสอบนั้นใช้ความพยายามหรือความสามารถสูงสุดในการทดสอบหรือไม่ ซึ่งเป็นแนวทางในการทำการวิจัยในครั้งนี้